

Veli-Pekka Kotikumpu

**ILMASTOINTIKONEEN SUODATTIMIEN HANKINNAN KILPAILU-
TUS**

ILMASTOINTIKONEEN SUODATTIMIEN HANKINNAN KILPAILU- TUS

Veli-Pekka Kotikumpu
Opinnäytetyö
Syksy 2017
Talotekniikan koulutusohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Talotekniikan tutkinto-ohjelma

Tekijä(t): Veli-Pekka Kotikumpu
Opinnäytetyön nimi: Ilmastointikoneen suodattimien hankinnan kilpailutus
Työn ohjaaja(t): Rauno Holopainen
Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: 2017 Sivumäärä: 36 + 7 liitettä

Työn tavoitteena oli selvittää Pohjois-Pohjanmaan sairaanhoitopiiriin hankittaville suodattimille hankintaperusteet. Lisäksi työn tavoitteena oli kehittää malli ilmastointikoneen suodattimien kilpailutukseen.

Työssä mitattiin kahden eri suodatinvalmistajan suodattimien paine-erojen, puhaltimien energiankulutuksen ja hiukkasten erotusasteen muuttumista vuoden ajan. Paine-ero- ja energiankulutusmittauksia tehtiin viikon välein ja hiukkasmittauksia noin kolmen viikon välein. Lisäksi rakennusautomaatiosta saatiin trendikäyrät suodattimien paine-erosta jatkuvana mittauksena.

Mittaustulokset vertailtiin ja analysoitiin keskenään. Paine-erot kasvoivat tasaisesti molemmissa suodattimissa, joten suurin merkitys oli niiden alkupainehäviöllä. Tulosten pohjalta tehtiin Excel-pohjainen laskuri suodattimien hankinnan kilpailutusta varten.

Asiasanat: ilmastointi, suodatin, erotusaste, paine-ero, puhaltimen energiankulutus, kilpailutus, sairaala

ALKULAUSE

Tämän opinnäytetyön tilaajana oli Pohjois-Pohjanmaan sairaanhoitopiiri. Tilaa-
jan yhteyshenkilönä toimi LVI-toimiston toimistopäällikkö Juhani Kettunen. Oh-
jaajana toimi Rauno Holopainen Oulun ammattikorkeakoulusta.

Työn tekemien oli erittäin mielenkiintoista ja opin monipuolisesti uutta tietoa
suodattimista ja niiden testausmenetelmistä. Haluan kiittää Juhani Kettusta, että
sain toteuttaa tämän mielenkiintoisen työn ja automaatiopuolta jolta sain trendi-
käyrät.

Haluan kiittää suodatinvalmistajia Camfil oy:tä ja Freudenbergiä, erityiskiitos
Erkki Koskiselle jolta sain hyviä tietoiskuja työni teoretietoa varten ja Markus
Keskitalolle joka mahdollisti energiamittaukset.

Suuret kiitokset kuuluvat myös VTT henkilöille Aimo Taipaleelle ja Ilpo Kulma-
lalle, joilta sain korvaamatonta tietoa mittauksien tekemiseen ja tulkitsemiseen.

Haluan kiittää myös muita sairaanhoitopiirejä, jotka kertoivat omista tämänhetki-
sistä kilpailutusmalleistaan:

Turtiainen Reetta LVI-insinööri KYS

Vuorinen Marko Käyttöpäällikkö TYKS

Mustasilta Harri Sairaalainsinööri TAYS

Otto Heikkinen Kiinteistöpäällikkö Siun sote

Koululta haluan kiittää eritoten ohjaajaani Rauno Holopaista sisällön ja teknisen
puolen ohjauksesta sekä Pirjo Partasta työn kieliasun tarkistuksesta ja palaut-
teesta.

Oulussa 10.10.2017

Veli-Pekka Kotikumpu

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ALKULAUSE	4
SISÄLLYS	5
1 JOHDANTO	7
2 ILMASTOINNIN SUODATUS SAIRAALASSA	8
2.1 Puhdastilat	8
2.2 Erilaiset suodatinluokat sairaaloissa	9
2.2.1 Esisuodatus	9
2.2.2 Hienosuodattimet	9
2.2.3 Korkean erotusasteen suodattimet	9
3 SUODATINSTANDARDIT	10
3.1 Ilmansuodatinstandardi EN 779	11
3.2 Ilmansuodatinstandardi ISO 16890	11
4 SUODATTIMIEN KILPAILUTUS SAIRAALASSA	13
4.1 Pohjois-Pohjanmaan sairaanhoitopiiri	13
4.2 Pohjois-Savon sairaanhoitopiiri	15
4.3 Varsinais-Suomen sairaanhoitopiiri	15
4.4 Pirkanmaan sairaanhoitopiiri	15
4.5 Pohjois-Karjalan sairaanhoito- ja sosiaalipalvelujen kuntayhtymä	17
5 MITTAUKSET	18
5.1 Alkuvalmistelut	19
5.2 Mittauksien tekeminen	22
5.3 Mittaustulosten analysointi	28
6 KILPAILUTUSMALLI	30
6.1 Vaadittavat suodatinluokitukset	30
6.2 Energiakustannukset	30
6.3 Vertailuhinta	31
6.4 Korkean erotusasteen suodattimet	31
6.5 Kilpailutuslomake	32

7 YHTEENVETO	33
LÄHTEET	34
LIITTEET	36

1 JOHDANTO

Ilmanvaihtojärjestelmän tuloilmasuodattimien tarkoitus on pitää sisäilman laatu terveellisenä ja estää ilmanvaihtojärjestelmää likaantumasta ulkoilman epäpuhtauksista. Suodatin poistaa suodatettavasta ilmasta epäpuhtauksia, kuten siite- ja katupölyn sekä pienhiukkasia, ja vähentää näin ihmisten altistumista epäpuhtauksille. Suodattimet on vaihdettava säännöllisesti, jotta ilmansuodatus toimii asianmukaisesti. Tarkkaa optimaalista vaihtoväliä ei ole olemassa, koska suodattimien likaantumisenopeus vaihtelee tapauskohtaisesti. Suodatintoimittajilla on omat vaihto-ohjeet, jotka perustuvat yleensä suodattimen alku- ja loppupaine-eroon.

Ilmastointikoneen suodattaminen elinkaarikustannuksiin vaikuttaa hankintakustannukset, vaihtokustannukset, energiankulutuksen kasvu suodattimien likaantuessa, likaantuneen suodattimen jätekustannukset ja logistiikkakulut. (1, s.13–15.)

Opinnäytetyön tavoitteena oli verrata kahden eri suodatinvalmistajan suodattimista aiheutuvaa energiankulutuksen kasvua suodattimien paine-eron noustessa ja siitä vuoden aikana aiheutuneita sähköenergiankustannuksia. Näitä vertaamalla kehitettiin vertailumalli, jota voidaan hyödyntää suodattimien hankinnan kilpailuttamisessa.

2 ILMASTOINNIN SUODATUS SAIRAALASSA

Sairaalan normaalitiloissa, kuten potilashuoneissa ja toimistotiloissa, käytetään yleensä kaksiportaista suodatusjärjestelmää, joka toteutetaan keskitaso- (M-luokka) ja hienosuodattimilla (F-luokka). Lisäksi sairaaloissa on paljon erikoistiloja, joissa vaatimukset ilmastoinnille ovat korkeammat ja edellyttävät toteutukselta runsaasti huomiota. Myös suodattimen erotusaste on näissä tiloissa korkeampi. Esimerkiksi leikkaussaleissa tuloilman puhtaudelle asetetaan tiukat vaatimukset, jotta ilmanvaihto ei lisää infektioriskiä. Runsas neljännes sairaalainfektioista on peräisin leikkaussaleista. (2, s. 8.)

Suodattimien käyttöikä ja likaantumista seurataan sairaaloissa paine-eromittauksilla. Paine-eroa mitataan suodattimien molemmilta puolilta, jotta saadaan selville suodattimien aiheuttama paine-ero. Paine-eromittarilta lähtee myös tieto kiinteistöautomaatiojärjestelmään, joka valvoo suodattimien likaantumista.

2.1 Puhdastilat

Isoin merkitys puhdastilaluokituksen ylläpitämisessä on tilan tiiviydellä ja tuloilman puhtaudella. Ilmastointikoneen tehtävänä on suodattaa ulkoilman epäpuhtauksia sekä säätää ilman lämpötilaa ja kosteutta. Tuloilman lopullinen suodatus tapahtuu erillisissä päätelaitesuodattimissa. Nämä suodattimet ovat yleensä ns. korkean erotusasteen suodattimia eli Hepa-suodattimia (High Efficiency Particulate Air Filter). Päätelaitesuodattimia voi samassa puhdastilassa olla useita. Suodattimien luokka valitaan prosessin vaatiman puhdastilaluokituksen mukaan. (1, s.13) Esimerkiksi H13-suodatin suodattaa 0,4 µm:n kokoisista ja sitä suuremmista hiukkasista $\geq 99,95$ % ja H14-suodatin $\geq 99,995$ % (3, s. 8). Puhdastila on ympäröiviin tiloihinsa nähden ylipaineinen, jolloin ilma virtaa puhtaasta tilasta likaisempaan päin.

2.2 Erilaiset suodatinluokat sairaaloissa

Suodattimen materiaalit ovat yleensä joko lasikuitua tai synteettistä materiaalia. Suodattimien kehykset ovat joko metallia, muovia tai pahvia. Suodattimet on jaoteltu suodatusominaisuuksien mukaan suodatusluokkiin ja käyttötarkoituksiin (4, s. 6)

2.2.1 Esisuodatus

Esisuodattimena käytettävät karkeat suodattimet poistavat ilmasta vain suurempia hiukkasia, esim. hiekkaa- ja siitepölyä (4, s. 6). Esisuodattimien tarkoitus on pidentää hienosuodattimien käyttöikää suodattamalla suurimmat hiukkaset ilmasta. Esisuodattimet vaihdetaan yleensä vähintään kaksi kertaa vuodessa.

2.2.2 Hienosuodattimet

Hienosuodattimet poistavat ilmasta bakteereja ja pienhiukkasia sekä lisäksi ne pystyvät tehokkaasti suodattamaan liikenteestä peräisin olevia hiukkasia (4, s. 6). Hienosuodatuksella pystytään takaamaan sairaalaympäristössä riittävä tuulilman puhtaus suurimmassa osassa sairaalatiloja pois lukien leikkaussalit, lääkkeenvalmistustilat, eristysosastot ja muut vastaavat tilat, joiden sisäilman puhtaudelle on asetettu erityisvaatimuksia. Hiukkassuodattimet vaihdetaan yleensä kerran vuodessa, jos ne eivät saavuta aikaisemmin loppupaine-eroksi määriteltyä arvoa.

2.2.3 Korkean erotusasteen suodattimet

HEPA-suodattimien materiaalit valmistetaan normaalisti halkaisijaltaan 0,1–1 µm:n paksuista lasikuiduista. Itse suodatinmateriaali on hyvin tiheää ja ohutta. Pienen paine-eron ja pitkän käyttöiän varmistamiseksi suodatinmateriaalit on laskostettu, jolloin suodattimien tehollinen suodatuspinta-ala voi olla 20 - 75 kertaa suurempi kuin sen pinta-ala. (5, s. 214) HEPA-suodattimien käyttöikä on sairaaloissa yleensä noin viisi vuotta, jos ne eivät saavuta aikaisemmin loppupaine-eroksi määriteltyä arvoa.

3 SUODATINSTANDARDIT

Euroopassa ja Suomessa on aiemmin käytetty EN 799 -standardia ja USA:ssa puolestaan ASHRAE-standardia 52.2. Standardit ovat poikenneet toisistaan suuresti. Tämänhetkissä alueellisissa standardeissa sovelletaan erilaisia testaus- ja luokitusmenetelmiä, jotka eivät ole vertailukelpoisia keskenään. EN 779:2012 -standardi poistuu käytöstä kesällä 2018, jolloin sitä ei voi enää käyttää (6.)

Uusi ilmansuodatinstandardi ISO 16890 poikkeaa merkittävästi aiemmasta. Se pätee kautta maailman, eli EU:n lisäksi se on voimassa muun muassa Kiinan ja USA:n markkinoilla. Standardi ISO 16890 on hyväksytty ja julkaistu vuoden 2016 lopussa. Sitä on saanut käyttää jo 2017 vuoden alusta lähtien (6).

Suodatinluokittelu esitetään uudessa standardissa kolmessa pääryhmässä prosenttein. EN 779 standardissa luokittelu tapahtui kirjain-numeroyhdistelmällä (kuva 1). (7)

SFS-EN ISO 16890			
ISO ePM ₁	ISO ePM _{2,5}	ISO ePM ₁₀	ISO Coarse
50 %	50 %	50 %	0.45 %*
55 %	55 %	55 %	55 %
60 %	60 %	60 %	60 %
65 %	65 %	65 %	65 %
70 %	70 %	70 %	70 %
75 %	75 %	75 %	75 %
80 %	80 %	80 %	80 %
85 %	85 %	85 %	85 %
90 %	90 %	90 %	90 %
95 %*	95 %	95 %	95 %
>95 %*	>95 %*	>95 %	>95 %

SFS-EN 779 luokkien värikoodit		
G1	M5	F7
G2	M6	F8
G3		F9
G4		

* Ei vastaavuutta EN779

Väreillä on esitetty ne uudet SFS-EN ISO 16890 luokat, joihin SFS-EN 779 luokituksen mukaiset suodattimet voivat uudessa luokituksessa kuulua. Taulukko on suuntaa antava, eikä poissulje mahdollisuutta että jokin testattu EN779 suodatin päätyy toiseen ISO16890 luokkaan.

Taulukko ei ole korvaavuussuositus, vaan osoittaa, että suodatinvalinta on tehtävä ulkoilman laatuun ja tavoiteltuun tuloilman laatuun perustuen.

KUVA 1 Suodatinluokat (7)

3.1 Ilmansuodatinstandardi EN 779

Suodattimien luokittelussa tarkastellaan ainoastaan 0,4 µm hiukkaskokoa. Suodattimet luokitellaan erotusasteen perusteella eri suodatinluokkiin. Suodatinluokat ovat G1 - G4, M5 - M6 ja F7 - F9 (8.)

Sähköstaattisen varauksen poistaminen standardissa tehdään leikkaamalla pala suodatinmateriaalia. Se kastellaan isopropanolissa, jolloin sähköstaattisen varauksen vaikutus poistuu. Testipölynä käytetään ASHRA-pölyä. ASHRAE-pöly sisältää 72 % ISO A2:sta, 23 % hiilimustajauhetta ja 5 % puuvillakuituja (8). Testipölykuormitus tehdään käsittelemättömälle suodattimelle, jolloin siitä ei ole poistettu sähköstaattista varausta. (9)

3.2 Ilmansuodatinstandardi ISO 16890

Standardi tekee mahdolliseksi arvioida ilmansuodattimen vaikutus sisäilman laatuun, kun tunnetaan paikallisen ulkoilman hiukkasmaisen aineksen (PM, particulate matter) arvot. Oikean suodattimien valintaan tulee merkittävästi nykyistä tarkempia lähtötietoja. Standardissa on neljä osiota:

- suodattimen testausmenetelmä
- suodatinmateriaalin sähköstaattisen varauksen purkaminen
- gravimetrinen testaus eli pölynsitomiskyky
- suodattimienluokitus. (6)

Standardissa on neljä hiukkasjakaumaluokkaa, jotka ovat ePM₁ (0,3–1,0 µm), ePM_{2,5} (0,3 – 2,5 µm) ja ePM₁₀ (0,3–10 µm). Neljäs luokka on lähinnä karkeasuodattimille käytettävä ISO Coarse, jossa suodattimelle määritetään vain punnituserotusaste. Esimerkiksi jos suodattimen testitulokset ovat (ePM₁) 52 %, (ePM_{2,5}) 83 % ja (ePM₁₀) 96 % suodattimen luokitus on ISO 50 % PM₁, ISO 80

% PM_{2,5} ja ISO 95 % PM₁₀. Nämä lasketaan kussakin luokassa alkuerotustas-
teen ja varauksen poiston jälkeen saadun tuloksen keskiarvoina (6).

PM-luokkien minimiraja on 50 %. Jos PM-luokituksen minimiraja 50 % ei täyty
suodatin ei saa lainkaan kyseistä PM-luokitusta. Pyöristykset mittaustuloksissa
tehdään aina alaspäin eli 49 %:sta tulosta ei pyöristetä 50 %:iin, joka mahtuisi
vaatimustasoon, vaan 45 %:iin. (6)

Sähköstaattisen varauksen poistaminen oli vanhassakin standardissa, mutta
sen mukaan leikattiin pala suodatinmateriaalia. Se kasteltiin isopropanolissa,
jolloin sähköstaattisen varauksen vaikutus poistuu. Nyt kokonainen suodatin
kastetaan ja suodattimen minimierotusaste testataan tämän jälkeen. Testi on
vaativa, mutta luotettava. Testipölynä käytetään hienojakoista pölyä (ISO 12103
PT 1. A2 / AC Fine). (7)

4 SUODATTIMIEN KILPAILUTUS SAIRAALASSA

4.1 Pohjois-Pohjanmaan sairaanhoitopiiri

Pohjois-Pohjanmaan sairaanhoitopiirissä eri suodatinvalmistajien suodattimien kilpailutuksessa otetaan nykyisin huomioon suodattimien hankintahinta, suodattimista käyttöänsä aikana aiheutuva energiankulutus ja hienosuodattimissa myös hiukkaserotusasteen alkuarvo. Liite 1 on kuva suodattimien tarjouslomakkeesta. Suodattimien käyttöajan energiankulutus lasketaan kaavalla 1. (10.)

$$K = \frac{q \cdot \Delta p \cdot t}{\eta \cdot 1000} * P \quad \text{KAAVA 1}$$

K = yhdensuodattimen kuluttama energia elinkaaren aikana [kWh]

q = ilmavirta [m³/s]

Δp = keskimääräinen paine-ero (valmistajan ilmoit. alkupainehäviö+75 Pa) [Pa]

t = suodattimen käyttöaika G4 = 3000 h

M5 - F8 = 6000 h

H13 - 14 = 30000 h

η = puhaltimen hyötysuhde (käytetään 0,6)

P = energiakustannus (käytetään 95 €/ MWh)

Hienosuodattimien kilpailutuksessa otetaan huomioon myös suodattimen hiukkaserotusasteen alku-arvo, joka F8-suodattimilla tulee olla vähintään 60 % (0,4 μ m). Tätä paremman erotusasteen alkuarvon saavuttava suodatin saa hyvitystä prosentuaalisesti hankintahinnastaan. Minimierotusaste lasketaan kaavalla 2. (10.)

$$V_{\text{hintalaskenta}} = \frac{100 - (ME_{\text{Suodatin}} - ME)}{100} * e \quad \text{KAAVA 2}$$

$V_{\text{hintalaskenta}}$ = laskennassa käytettävä vertailuhinta [€]

ME_{Suodatin} = hiukkaserotusasteen alkuarvo nimellisvirtaamalla

ME = vaadittu minimierotusaste hiukkassuodatin luokalla

e = yhden suodattimen hankinta hinta [€]

Hienosuodattimienluokan kokonaishinta kilpailutuksessa saadaan laskettua laskennassa käytettävän vertailuhinnan ($V_{\text{hintalaskenta}}$), suodattimien kappalemäärän ja elinkaarenaikaisten energiankulutuksien avulla. Suodatinluokan vertailuhinta kilpailutuksessa lasketaan kaavalla 3 (10).

$$V_{\text{hinta}} = (V_{\text{hintalaskenta}} + K) * \acute{a} \quad \text{KAAVA 3}$$

V_{hinta} =hienosuodatinluokan vertailuhinta kilpailutuksessa [€]

$V_{\text{hintalaskenta}}$ = laskennassa käytettävä vertailuhinta [€]

K = yhdensuodattimen kuluttama sähköenergia elinkaaren aikana [kWh]

\acute{a} = suodattimien kappalemäärä

Karkea- ja keskitason suodatinluokkien laskukaava ei ota huomioon erotusasteen alkuarvoa. Niiden laskennassa käytetään suodattimen yksikköhintaa, suodattimien kappalemäärää ja elinkaaren aikaisia energiankulutuksia. Karkea- ja keskitasonluokan vertailuhinta kilpailutuksessa lasketaan kaavalla 4. (10.)

$$V_{\text{hinta}} = (\acute{a}_{\text{hinta}} + K) * a \quad \text{KAAVA 4}$$

V_{hinta} =hienosuodatinluokan vertailuhinta kilpailutuksessa [€]

\acute{a}_{hinta} = suodattimen kappale hinta [€]

K = yhdensuodattimen kuluttama sähköenergia elinkaaren aikana [kWh]

a = suodattimien kappalemäärä

4.2 Pohjois-Savon sairaanhoitopiiri

Pohjois-Savon sairaanhoitopiiri ei tällä hetkellä kilpailuta suodattimiaan itse. He ovat ulkoistaneet hankinnan IS-hankinnalle. (11.)

4.3 Varsinais-Suomen sairaanhoitopiiri

Varsinais-Suomen sairaanhoitopiirillä on useampia identtisiä ilmastointikoneita, joissa he ajavat tällä hetkellä testiajoja erisuodatinvalmistajien suodattimilla ja saavat tällä tavalla selville heille parhaiten soveltuvat suodattimet. (12.)

4.4 Pirkanmaan sairaanhoitopiiri

Pirkanmaan sairaanhoitopiirissä valitaan suodatintoimittaja kokonaistaloudellisen edullisuuden perusteella pisteyttämällä seuraavat osa-alueet:

- volyymituotteet max 60 pistettä
- muut tuotteet max 30 pistettä
- sähköinen asiointijärjestelmä max 5 pistettä
- suodattimien P-merkintä max 5 pistettä.

Suodatintoimittajaksi valitaan korkeimman pistemäärän saaneen tarjouksen tehnyt toimittaja. (13.)

Volyymituotteet pisteytetään tuotteittain. Toimittaja, joka on tehnyt kokonaiskustannuksiltaan halvimman tarjouksen, saa ko. tuotteelle painokertoimen osoittaman osuuden volyymituotteiden maksimipistemäärästä. Esimerkiksi kokonaiskustannuksiltaan halvin laajapintasuodatin saa 6 pistettä (=10 % x 60). (13.)

Muiden toimittajien laajapintasuodattimet saavat pistemäärän, joka saadaan kertomalla halvimman saama 6 pistettä halvimman kokonaiskustannuksen ja tarkasteltavan laajapintasuodattimen kokonaiskustannuksen suhteella.

Esimerkiksi, jos halvin kokonaiskustannus on 100 ja tarkasteltavan

suodattimen kokonaiskustannus 110, saa tarkasteltava laajapintasuodatin $6 \times 100 / 110 = 5,45$ pistettä. Vastaavalla tavalla pisteytetään kaikki muutkin volyymituotteet. (13.)

Muiden tuotteiden pisteytys suoritetaan suodattimien hankintahinnan summan perusteella niin, että halvimman tarjoushinnan antanut toimittaja saa 30 pistettä. Muiden toimittajien pistemäärä lasketaan kertomalla halvimman toimittajan saama 30 pistettä halvimman toimittajan suodatinkustannusten summan ja tarkasteltavan toimittajan suodatinkustannusten summan suhteella. (13.)

Sähköistä asiointijärjestelmää arvioidaan tarjouksen liitteenä olevan kuvauksen perusteella. Parhaimmaksi arvioitu sähköinen asiointijärjestelmä saa 5 pistettä, toiseksi paras 2 pistettä ja muut 0 pistettä. Useampi tarjoaja voi saada saman pistemäärän. (13.)

Ruotsin teknillinen tutkimuskeskus (Sveriges Tekniska Forsningsinstitut) myöntää suodattimille ns. P-merkinnän. P-merkinnän saaminen edellyttää, että ulkopuolinen toimija ottaa eri suodatinluokista näytteet vuosittain ja jatkuvan tarkkailun alla, että eri suodatinluokista otetaan vuosittaiset näytteet ulkopuolisen toimijan toimesta ja että ennen kaikkea suodattimille tehdään pitkäaikaiset 6 kuukauden testit todellisissa käyttöolosuhteissa ulkoilmalla. Mikäli kaikilla volyymituotesuodattimilla (yhteensä 8 kpl) on P-merkintä, saa toimittaja 5 tuotekehitys- ja laatupistettä. Mikäli vain osalla suodattimista on P-merkintä, saa toimittaja laatupisteitä P-merkinnän omaavien suodattimien suhteessa. Esimerkiksi jos neljällä suodattimella on P-merkintä, saa toimittaja tuotekehitys- ja laatupisteitä $5 \times 4 / 8 = 2,5$ pistettä. Tarjoukseen tulee liittää todistus niistä volyymituotesuodattimista, joilla on P-merkintä. (13.)

Mikäli toimittaja tarjouksessaan esittää muulla tavoin kuin P-merkinnällä oman toimintansa ja tarjotuista volyymituotesuodattimista vastaavat asiat kuin mitä P-merkintä sisältää, saa toimittaja vastaavat tuotekehitys- ja laatupisteet. (13.)

4.5 Pohjois-Karjalan sairaanhoito- ja sosiaalipalvelujen kuntayhtymä

Pohjois-Karjalan sairaanhoito- ja sosiaalipalvelujen kuntayhtymä osallistuu suodattimien osalta Pohjois-Karjalan hankintatoimen kilpailutukseen (14).

5 MITTAUKSET

Mittaukset toteutettiin Pohjois-Pohjanmaan sairaanhoitopiirin avohoitotaloyksikössä. Kohteet olivat kaksi erillistä leikkaussalia. Näihin saleihin tuloilma tulee koneiden TU-587 ja TU-588 kautta. Koneiden kanavistot ovat lähestulkoon samanlaiset. Ulkoilmavirta koneissa on $1 \text{ m}^3/\text{s}$. Niillä on myös yhteinen ulkoilman kammio, joten koneille tuleva ulkoilma tulee samasta paikasta (kuva 2). Ilmastointikoneet sijaitsevat kolmannessa kerroksessa.



KUVA 2. Raitisilmasäleikkö

Mittaukset aloitettiin 19.7.2016 ja lopetettiin 3.8.2017. Mittaukset koostuivat silmä määräisestä katselmuksesta sekä hiukkas-, paine-ero- ja energiankulutusmittauksista. Hiukkasmittaukseen käytettiin Met One Laser Particle Counter A2400-mittaria. Paine-eromittauksessa käytettiin TSI:n Velocicalc-sarjan monitoimi 9565-mittaria. Energiankulutusta mitattiin e-Tracker energy monitor -mittarilla. Näitten lisäksi saatiin kiinteistöautomaatiosta trendiseurantatietoja suodattimien paine-eroista.

5.1 Alkuvalmistelut

Työn suorittaminen aloitettiin suodatinseinien tiiviiden silmämääräisellä tarkastamisella. Suodatinseinien tiiviydessä oli suuria puutteita (liite 2). Suodattimet on asennettu seinän imupuolelle, joten paine-eron kasvaessa ilmavirta painaa suodattimia irti seinästä. Suodatinseinän kehikon ja koneen kammion välistä oli myös ohivuotoja. Havaitut puutteet korjattiin akryylimassalla (kuva 3). Seinien tiivys varmistettiin vielä hiukkasmittauksilla (kuva 4). Samassa yhteydessä tarkistettiin myös paine-eroletkujen mittauspisteet kanavassa sekä vaihdetaan niiden paikka, jotta mittaustulos olisi mahdollisimman luotettava. Lisäksi kanavien sisäpinnat imuroitiin ja pyyhittiin.



KUVA 3. Tiivistetty suodatinseinä



KUVA 4. Hiukkasmittaus ilmanvaihtokonehuoneessa

Tämän jälkeen molemmat ilmanvaihtokoneet laitettiin käymään jatkuvasti teholla $1 \text{ m}^3/\text{s}$, jotta molempien suodattimien läpi kulkee likimäärin sama ilmavirta. Suodattimien paine-eroa (kuva 5) ja energiankulutusta (kuva 6) mitattiin likaisilla suodattimilla ennen kuin koneisiin vaihdettiin uudet suodattimet. Mittaukset toistettiin uusilla suodattimilla, mistä saatiin puhtaiden suodattimien alkupainehäviö.



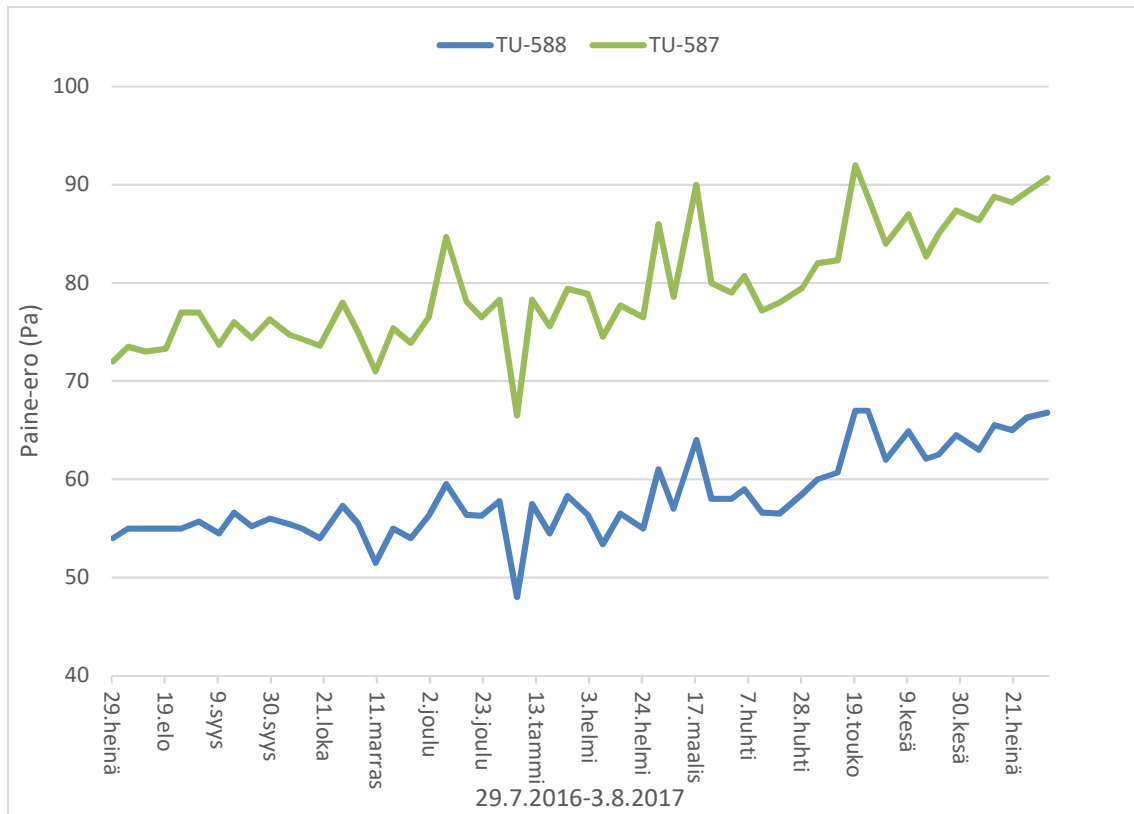
KUVA 5. Suodattimien paine-eromittaus



KUVA 6. Puhaltimien energiankulutuksen mittaus

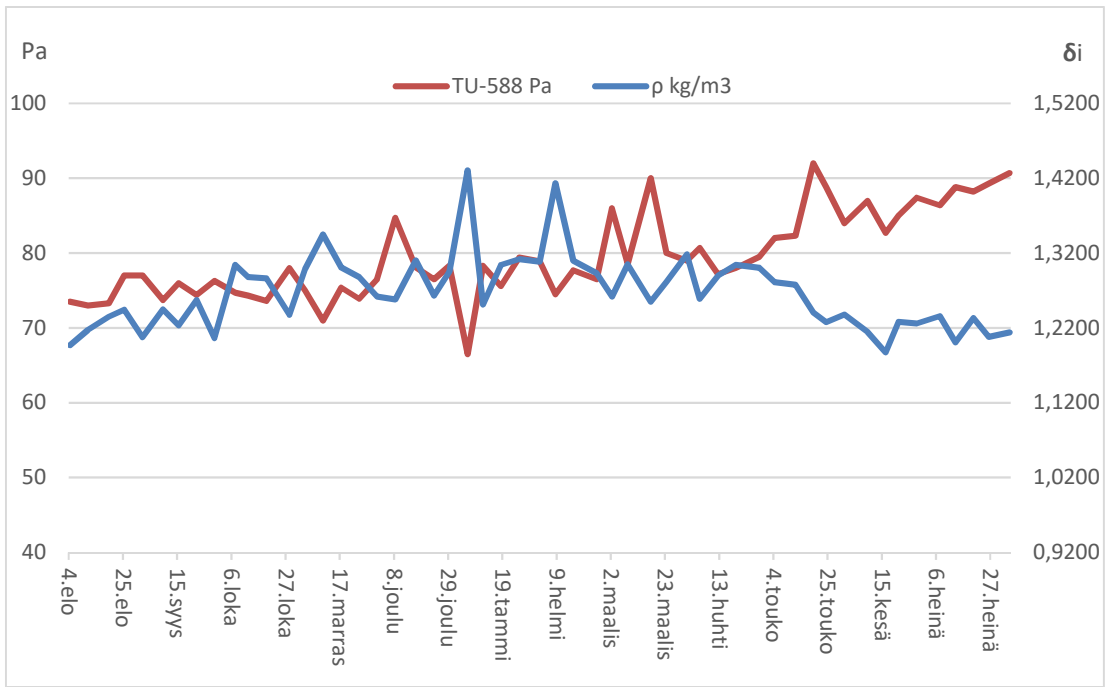
5.2 Mittauksien tekeminen

Suodattimien paine-eron muutosta mitattiin viikon välein. Näin pystyttiin seuraamaan suodattimien paine-eron muutosta koko mittausjakson ajan. (Kuva 7.)

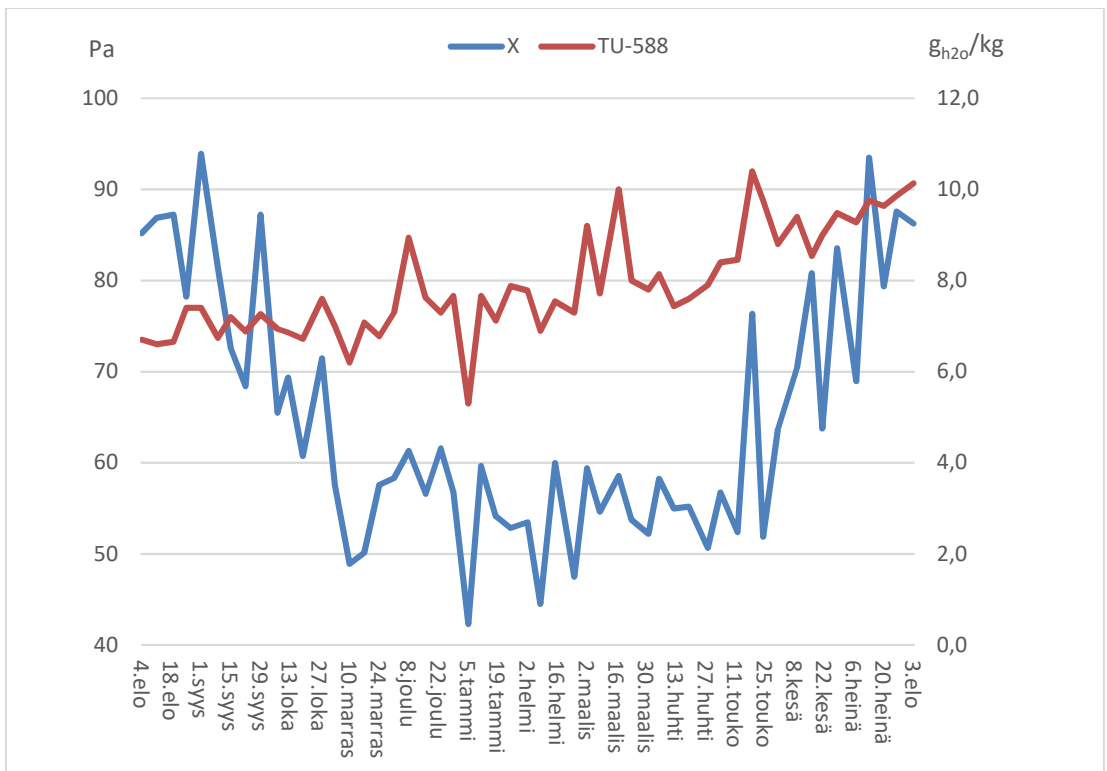


KUVA 7. Paine-eron vertailu

Paine-eromittauksissa herätti välillä huomiota paine-eron pieneneminen. Asiaa tutkittaessa laskelmissa (liite 4) kävi ilmi, että ilman tiheys vaikuttaa paine-eron vaihteluun (kuva 8). Suurin merkitys paine-eroon oli ilman vesipitoisuudella (kuva 9).

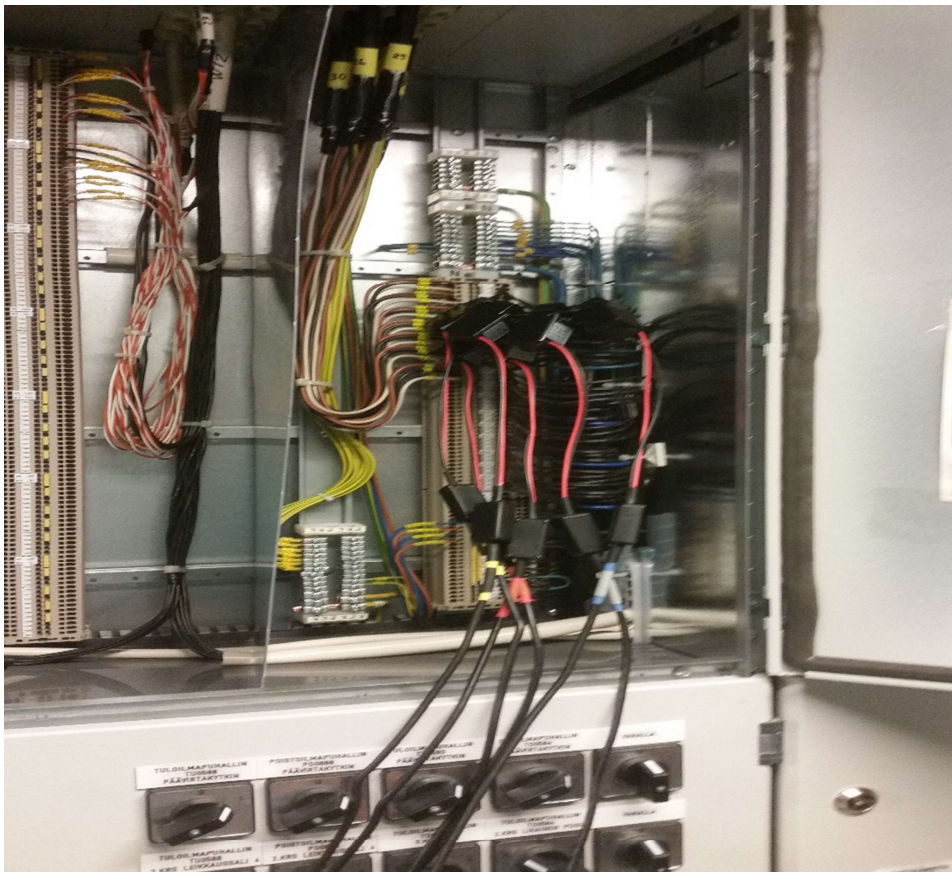


KUVA 8. Paine-eron ja ilmantiheden vertailu



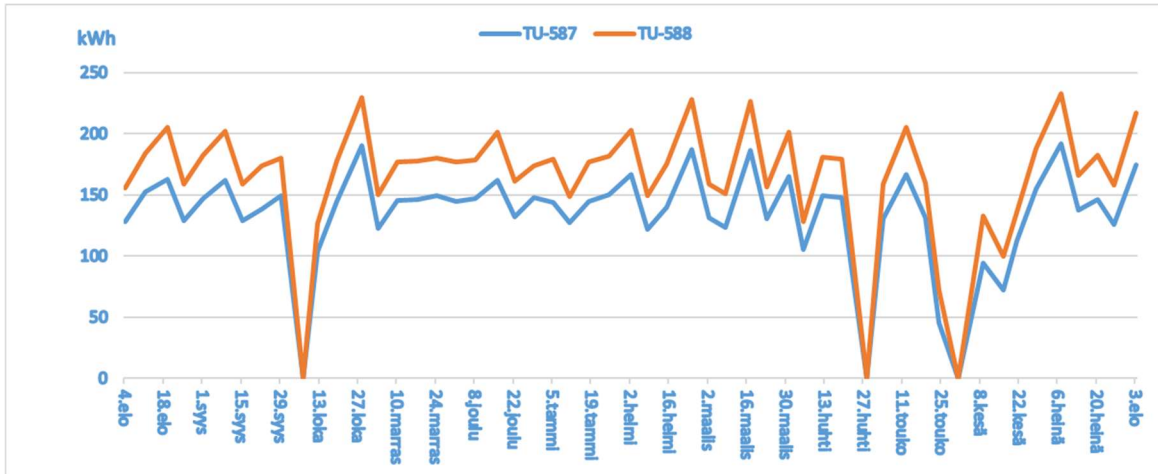
KUVA 9. Paine-eron ja ilmanvesi pitoisuuden vertailu

Energiamittareilla mitattiin koneiden puhaltimen energiankulutusta koko mittausjakson ajan. Mittareihin tuli mittausjakson aikana kolme kertaa häiriö, joten nämä kerrat on jätetty mittauksista pois. Mittauksien päätyttyä tehtiin kalibroitimittaus energiamittareille. Siinä kytkettiin molemmat mittarit samaan koneeseen viikon ajaksi (kuva 10). Mittauksissa selvisi mittareiden mittausero, josta laskettiin korjauskerroin mittareille. Korjauskerroin oli 0,241 x kWh tunnille. Korjauskerrointa käytettiin pienemmän tuloksen antaneeseen mittariin.

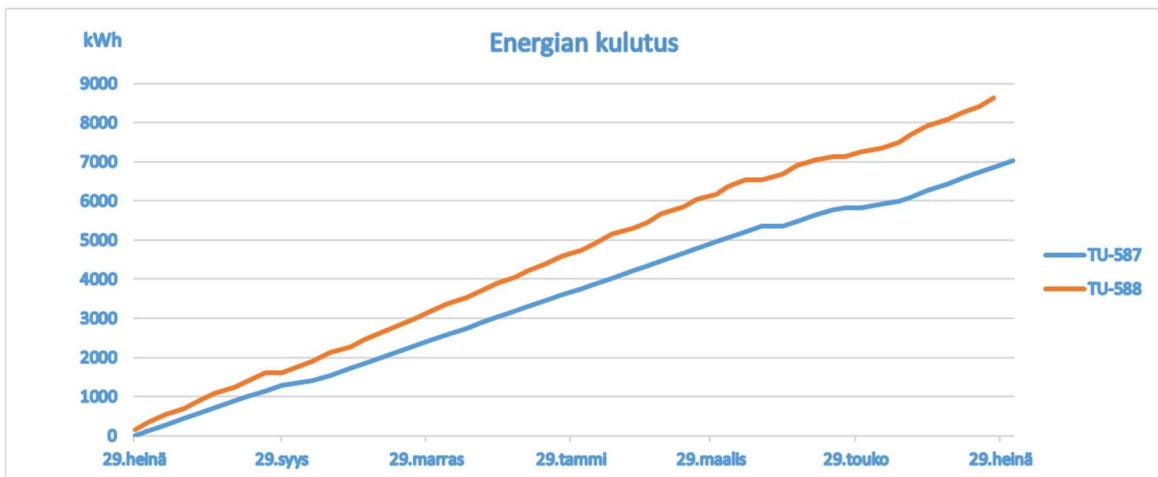


KUVA 10. Energiamittarin kalibrointi

Kuvasta 11 näkyy puhaltimien sähköenergiankulutus viikoittain. Mittareissa tul-
leiden häiriöiden takia kolmen viikon kohdalla viikoittaiset kulutukset näyttävät
nollaa. Koko mittausjakson ajan tehdyssä mittauksessa nähdään, miten ener-
gian kulutus on suurempi koneessa TU-588 (kuva 11). Molemmissa kuvissa on
käytetty mittareiden kalibroinnissa saatua korjauskerrointa. (Liite 5.)



KUVA 11. Ilmanvaihtokoneiden puhaltimien sähköenergiankulutus viikoittain

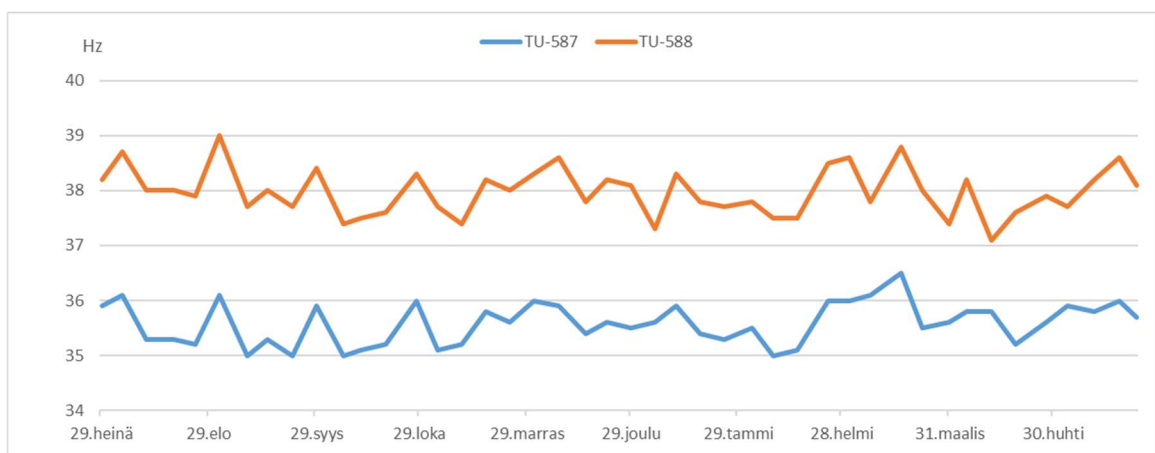


KUVA 12. Ilmanvaihtokoneiden puhaltimien sähköenergiankulutus mittausjak-
son aikana

Tämän lisäksi kirjattiin ylös taajuusmuuntajien (kuva 12) hertsit kyseisiltä tuloilmakoneilta (kuva 13). Käyrästä näkee, että koneiden hertsit olivat pysyneet suhteellisen vakaana koko mittausjakson ajan.

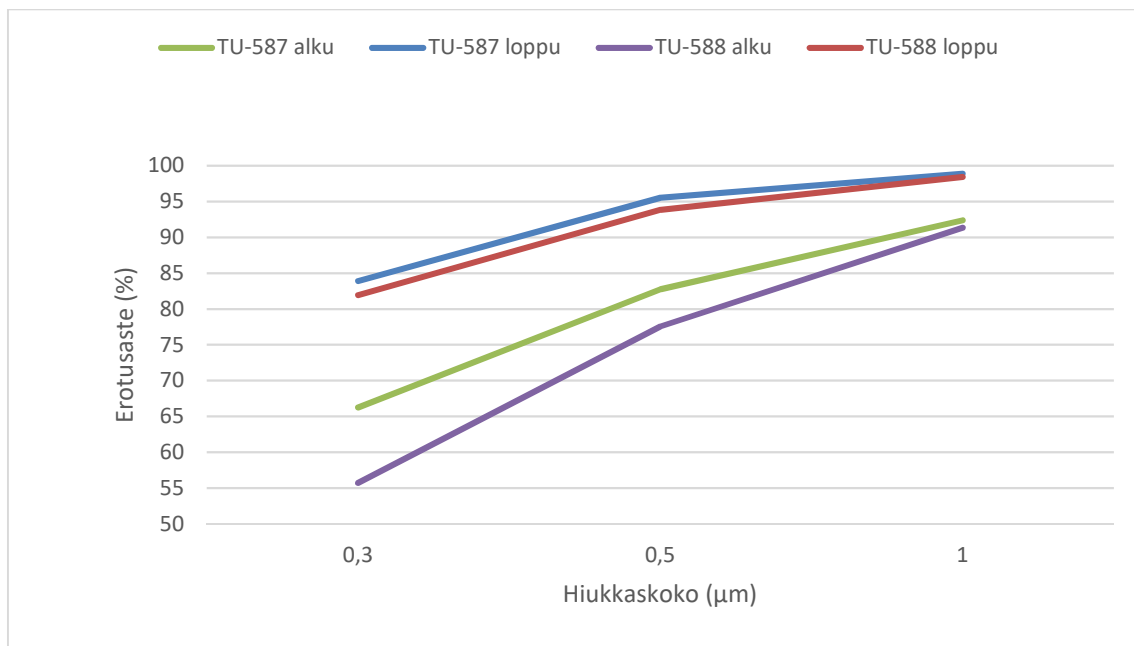


KUVA 13. Puhaltimien taajuusmuuttajat

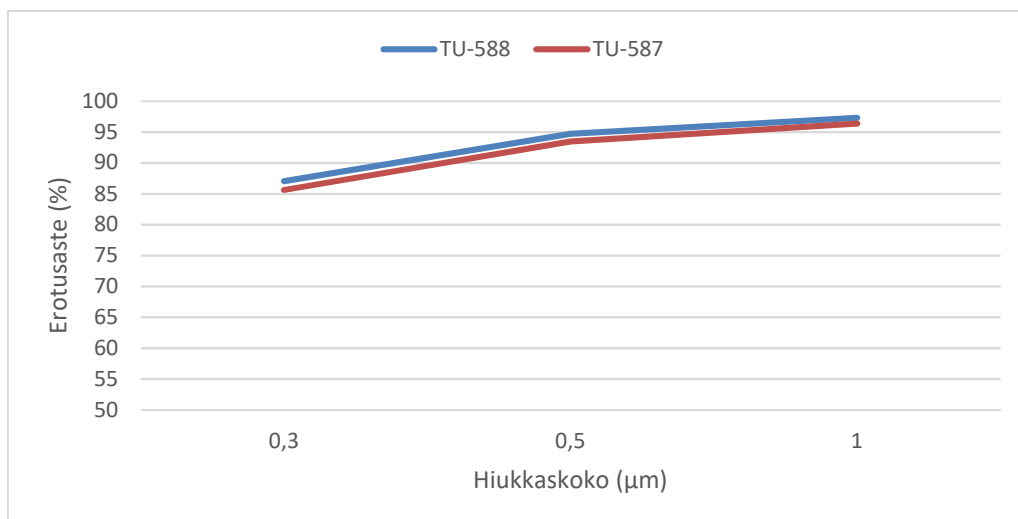


KUVA 14. Puhaltimien Hertsien vertailu mittauksen aikana

Hiukkasmittauksia tehtiin noin kolmen–neljän viikon välein mittausjakson aikana. Hiukkasmittauksissa ongelmaksi tuli kostuttimen sijainti, koska mittapiste jouduttiin asentamaan heti kostuttimien jälkeen. Tämä aiheutti hiukkasmittauksiin virheellisiä tuloksia aina, kun kostuttimet olivat päällä. Kun ongelma huomattiin, mittausajankohdaksi valittiin ajankohdat jolloin kostuttimet eivät olleet päällä. Suodattimien erotusasteen laskelmat ovat liitteessä 6. Molempien suodattimien erotusaste parani mittausjakson alusta verrattuna mittausjakson loppuun (kuva 15). Suodattimien erotusasteen keskiarvo oli molemmissa koneissa 85 % hiukkaskoolle $0,387\mu\text{m}$ (kuva 16).



KUVA 15. Kumulatiivinen erotusaste hiukkaskoon funktiona (alku/lopputilanne)



KUVA 16. Kumulatiivinen erotusaste hiukkaskoon funktio keskiarvolla lasketuna

5.3 Mittaustulosten analysointi

Mittauksen alussa huomio kiinnittyi suodatinseinien tiivyyteen, joka oli puutteellinen. Suodattimien lukitus tapahtui liukukiskoilla, jotka olivat jo muutaman vuoden käytön jälkeen jäykistyneet eivätkä painaneet tasaisesti suodattimia seinää vasten. Lisäksi suodattimet asennettiin suodatinseinän painepuolelle, jolloin lisääntyneen paine-eron vaikutuksesta ilmavirta työnsi suodattimia irti suodatinseinästä. Suodatinseinän tiivys koneen seiniin oli myös puutteellinen, joten ohi-vootoja tuli myös sieltä.

Suodattimien paine-eron kasvu oli yllättävän vähäistä mittausjakson aikana kyseisissä koneissa, mikä täytyy ottaa huomioon kilpailutusmallia suunniteltaessa. Suodattimien paine-eron kasvu oli kuitenkin hyvin samankaltaista molemmissa koneissa koko mittausjakson ajan, joten suurin vaikutus puhaltimen sähköenergia kulutukseen oli suodattimien alkupainehäviöllä. Rakennusautomaatiosta saatiin trendikäyrä paine-eron muutoksesta marraskuun alusta heinäkuun loppuun. Nämä tulokset olivat sopusoinnussa omien mittauksien kanssa (Liite 3).

Energiamittauksessa käytettyjen mittarien mittausalue oli kyseisille koneille liian suuri, joten tarkkuudessa voi olla epätarkkuutta. Kalibroinnissa kävi ilmi, että toisessa mittarissa oli yhdessä johdinvaiheessa kosketushäiriö. Tätä jouduttiin korjaamaan tuloksissa korjauskertoimella, joka saatiin vertailumittauksella. Tuloksista näkyy, että suodatin, jolla on korkea alkupainehäviö, aiheutti korkeamman energiankulutuksen.

Hiukkasmittauksissa molempien suodattimien erotusasteen keskiarvo ylitti 85 % hiukkaskoolla 0,3 - 0,5 μm . Ensimmäisissä hiukkasmittauksissa molemmissa koneissa minimierotusasteet olivat kuitenkin alhaisella tasolla. Seuraavassa mittauksessa molempien koneiden erotusasteet olivat jo yli 90 % hiukkaskoolla 0,3 - 0,5 μm . Molemmat suodattimet saavuttivat hiukkasmittauksissa vaadittavan erotusasteen 75 % hiukkaskoolla 0,4 μm koko mittausjakson ajan.

6 KILPAILUTUSMALLI

Kilpailutusmallin hyvänä pohjana pidän Pohjois-Pohjanmaa Sairaanhoidopiirin mallia, koska yksinkertaisuuden ja selkeyden ansiosta sitä on helppo käyttää. Hintojen tulee olla tarjouksessa rahtivapaita. Pohjois-Pohjanmaan sairaanhoidopiirin oma henkilökunta vaihtaa suodattimet ja jätteet kulkevat oman jäteaseman kautta, joten suodattimien vaihto- ja jättekustannuksia ei ole huomioitu kilpailutuksessa.

6.1 Vaadittavat suodatinluokitukset

Uudessa suodatinstandardista suodattimien minimierotusasteen rajat joudutaan arvioimaan uudestaan, koska ISO-16890 standardissa PM₁-luokassa erotusasteet ilmoitetaan prosentteina ja hiukkasjakauma-alue on eri aikaisempaan standardiin nähden. EN 799-standardin minimierotusasteen luokitukset M5-luokan suodattimille ISO-standardin ovat luokituksen mukaan seuraavat PM₁₀ 50 %, F7 ISO luokitus on PM₁ 60 %, F8 ISO luokitus on PM₁ 75 % ja F9 ISO luokitus on PM₁ 85 % (kuva 1). Minimierotusasteen ylittävää prosenttiosuutta käytetään hintavertailussa hintaa alentavana tekijänä. Tämä otetaan huomioon vain PM₁-luokassa.

6.2 Energiakustannukset

Suodattimen käyttöiän aikaista energiakulutusta laskettaessa on otettava huomioon käyttötuntien määrä, käytettävä ilmamäärä, puhaltimen hyötysuhde ja alkupainehäviö.

Suodattimien käyttötuntien määräytyy suodattimien vaihtovälin perusteella. Esimerkiksi PM₁= 6000 h (1 vuosi), PM₁₀=3000 h (0,5 vuotta).

Ilmavirtana käytetään suodatintesteissäkin käytettyä 0,944 m³/s, koska ilmavirrat vaihtelevat konekohtaisesti ja ne eivät pysy vakioina koko suodattimien käyttötuntien aikaa.

Puhaltimen hyötysuhteena on käytetty 60 %:a, koska kysymyksessä on vanha rakennus ja koneiden todellisia hyötysuhteita ei ole tiedossa. Jos koneiden todelliset hyötysuhteet olisivat tiedossa, voitaisiin käyttää laskennassa keskimääräistä hyötysuhdetta.

Mittaustulosten perusteella huomattiin, että mitattujen suodatinvalmistajien suodattimien paine-eron kasvussa oli hyvin vähäistä eroavaisuutta. Tämän perusteella kilpailutuksessa voidaan käyttää suodattimien valmistajien ilmoittamaa alkupainehäviötä, kun vertaillaan samankaltaisia suodattimia. Laajapintasuodattinta ja pussisuodattinta ei voida verrata keskenään. Sen vuoksi kilpailutuksessa tulee eritellä, mitkä suodattimet ovat pussisuodattimia ja mitkä laajapintasuodattimia.

Energiakustannuksia laskettaessa tarvitsee suodattimen käyttöänsä aikana aiheuttaman energiankulutuksen ja energian hinnan. Energian hintatieto tarkistetaan energian tuottajalta aina ennen kilpailutuksen tekemistä ja päivitetään kilpailutuslomakkeeseen.

6.3 Vertailuhinta

Vertailuhinta saadaan laskemalla suodattimien kappalemäärä, yksikköhinta ja energiakustannukset. PM₁-luokan suodattimissa minimierotusasteen ylittävää prosenttisuutta käytetään prosentuaalisesti hintaa alentavana tekijänä suodattimen yksikköhinnassa. Vertailuhinnoilla voi vertailla eri suodatinvalmistajien tarjouksia.

6.4 Korkean erotusasteen suodattimet

Korkean erotusasteen suodattimille kilpailutuksessa ohjeistuksena käytetään standardia EN 1822. HEPA-suodattimien käyttöaikana käytetään 30 000:ta tuntia (5 vuotta). Painehäviön kasvuna HEPA-suodattimille sallitaan 150 Pa, joten keskimääräinen painehäviö saadaan laskettua lisäämällä alkupainehäviöön 75 Pa. Suodattimen yksikköhinnasta otetaan kilpailutuksessa huomioon vain 20 %, koska suodattimien käyttöikä on viisi vuotta.

6.5 Kilpailutuslomake

Kilpailutuksessa käytettävä Excel-lomake löytyy liitteestä 7. Lomakkeesta löytyy kaavat valmiina, joten siihen tarvitsee lisätä vain lähtötiedot. Lisäksi kaavat on selitetty lomakkeen alla olevassa tekstiosiossa.

Tilaaaja lisää lomakkeeseen energian hinnan, suodattimien kappalemäärät ja koneiden hyötysuhteen. Lisäksi HEPA-suodattimien osioon tilaaaja lisää käytettävät ilmavirrat ja keskimääräisen painehäviön. Tilaaaja pystyy helposti lisäämään tarvittaessa suodatin tyyppejä lomakkeeseen lisäämällä rivejä ja kopioimalla kaavat valmiilta riveiltä.

Tarjouksen jättäjä täyttää erikseen merkityt kohdat ja mahdolliset perustelut lomakkeeseen. Tällä lomakkeella suodatinvalmistaja sitoutuu täyttämään kaikki tarjouspyynnössä esitetyt ehdot. Jos ehdot eivät täyty, niistä täytyy olla mainittu perustelut-kohdassa. Tämän jälkeen tilaajalla on mahdollisuus tarkistaa, ovatko perustelut riittävät tarjouksen hyväksymiseksi kilpailutukseen.

7 YHTEENVETO

Työn tarkoituksena oli kehittää Pohjois-Pohjanmaan sairaanhoitopiiriin kilpailutusmalli ilmansuodattimien hankintaan. Tätä varten verrattiin kahden eri suodatinvalmistajan suodattimien suodatuskykyä hiukkasmittauksin, suodattimien paine-eron kasvua ja sen vaikutuksia puhaltimien energian kulutukseen vuoden ajan kestäväillä mittauksilla. Mittaustulosten pohjalta tehtiin malli, jolla suodattimien kilpailutus pystytään toteuttamaan mahdollisimman tasapuolisesti eri valmistajien kesken.

Työn suorittamisessa tuli vastaan ongelmia jo alkuvaiheessa. Suodatinseinät oli rakennettu ilmateknisesti väärin, joten niiden tiiviys oli puutteellinen. Tämä sama ongelma ilmenee monen eri valmistajan ilmanvaihtokoneissa ja siihen tulisi kiinnittää huomiota, kun koneita valmistetaan. Näin suodattimilla saataisiin suodatettua ilmaa mahdollisimman tehokkaasti. Koneiden hiukkasmittauksien mittauspiste asennettiin heti koneiden kostuttimen jälkeen, minkä takia mittauksia ei voitu suorittaa kostuttimen ollessa toiminnassa. Mittauksissa molemmat suodattimet täyttivät suodatinluokalle F8 vaaditut erotusasteet.

Mittaustulosten perusteella suodattimien paine-eron kasvu oli hyvin samanlaista. Suodattimien paine-eron kasvu oli vähäistä vuoden aikana, joten merkittäväksi tekijäksi tuli suodattimien alkupainehäviö. Tarkemman tuloksen saamiseksi koneita, joista suodattimien paine-eroa tarkastellaan, pitäisi olla paljon enemmän ja eripuolilla tutkittavia rakennuksia. Silloin selviäisi ylittykö jollakin koneella 150 Pa paine-eronkasvu, jolloin suodattimet pitäisi vaihtaa ennen vuoden määräaikaa.

Suodattimien kilpailutuksessa vertaillaan suodattimien kappalehintaa ja vuodessa aiheutuva sähköenergian kulutusta. Alkupainehäviötä apuna käyttäen pystyy laskemaan puhaltimen sähköenergian kulutus eri suodattimille.

LÄHTEET

1. Kiramo, Elli-Noora 2013. Teollisuuden puhdastilat. Opinnäytetyö. Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu.
2. Ryhänen, Teemu 2012. Sairaalarakentamisen vaatimukset LVI-urakoitsijalle. Opinnäytetyö. Mikkeli: Mikkelin ammattikorkeakoulu.
3. SFS-EN 1822-1 2010. High efficiency air filters (EPA, HEPA and ULPA). Part 1: Classification, performance testing, marking. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto. Saatavissa: <https://online.sfs.fi/fi/index/tuotteet/SFS/CEN/ID2/1/147789.html.stx>. Hakupäivä: 12.8.2017
4. Pietiläinen, Juho 2015. Ilmanvaihtokoneiden suodattimien vaihtovälin optimoiminen sähkönkulutuksen perusteella. Opinnäytetyö. Helsinki: Metropolia Ammattikorkeakoulu.
5. Sandberg, Esa (toim) 2014. Ilmastointilaitoksen mitoitus Ilmastoititeknikka osa 2. Talotekniikka-Julkaisut Oy.
6. Heikkinen, Heikki 2017. Uudet standardit mullistavat ilmansuodatuksen. Talotekniikka lehti 2/2017. S. 20–21.
7. Ilmansuodatuksen testaus- ja luokittelustandardi muuttuu. Talotekniikkatellisuus ry. Saatavissa: http://talotekniikka.teknologiateollisuus.fi/sites/lvi-talotekniikka/files/file_attachments/38_Ilmansuodatuksen%20testaus-%20ja%20luokittelustandardi%20muuttuu.pdf. Hakupäivä 13.10.2017.
8. ASHRAE Test Dust #1 Per ANSI/ASHRAE 52.1 and 52.2. Saatavissa: <http://www.powdertechologyinc.com/product/ashrae-test-dust-1/>. Hakupäivä 28.9.2017.
9. Ilmansuodattimien luokitus muuttuu. Sisäilmastoseminaari 2017. S. 128-129

10. Kettunen, Juhani 2017. LVI-toimiston toimistopäällikkö, OYS. Keskustelu 31.5.2016.
11. Turtiainen, Reetta 2017. Lvi-insinööri, KYS. Puhelinhaastattelu 7.6.2017.
12. Vuorinen, Marko 2017. Käyttöpäällikkö, TYKS. Puhelinhaastattelu 7.6.2017.
13. Mustasilta, Harri 2017. Sairaalainsinööri, TAYS VS: Suodattimien kilpailutus sairaanhoitopiireissä Sähköpostiviesti. Vastaanottaja: Veli-Pekka Kotikumpu. 11.9.2017.
14. Heikkinen, Otto 2017. Kiinteistöpäällikkö, Siun sote VS: Ilmastointisuodattimien kilpailutus Sähköpostiviesti. Vastaanottaja: Veli-Pekka Kotikumpu. 14.9.2017.

LIITTEET

Liite 1 VANHA KILPAILUTUSMALLI POHJOIS-POHJANMAAN SAIRAANHOITAPIIRI

Liite 2 SUODATINSEINÄN RAKENNE

Liite 3 SUODATTIMIEN PAINE-EROMITTAUKSET

Liite 4 ILMANTIHEYDEN LASKEMINEN

Liite 5 ENERGIAN KULUTUS LASKELMA

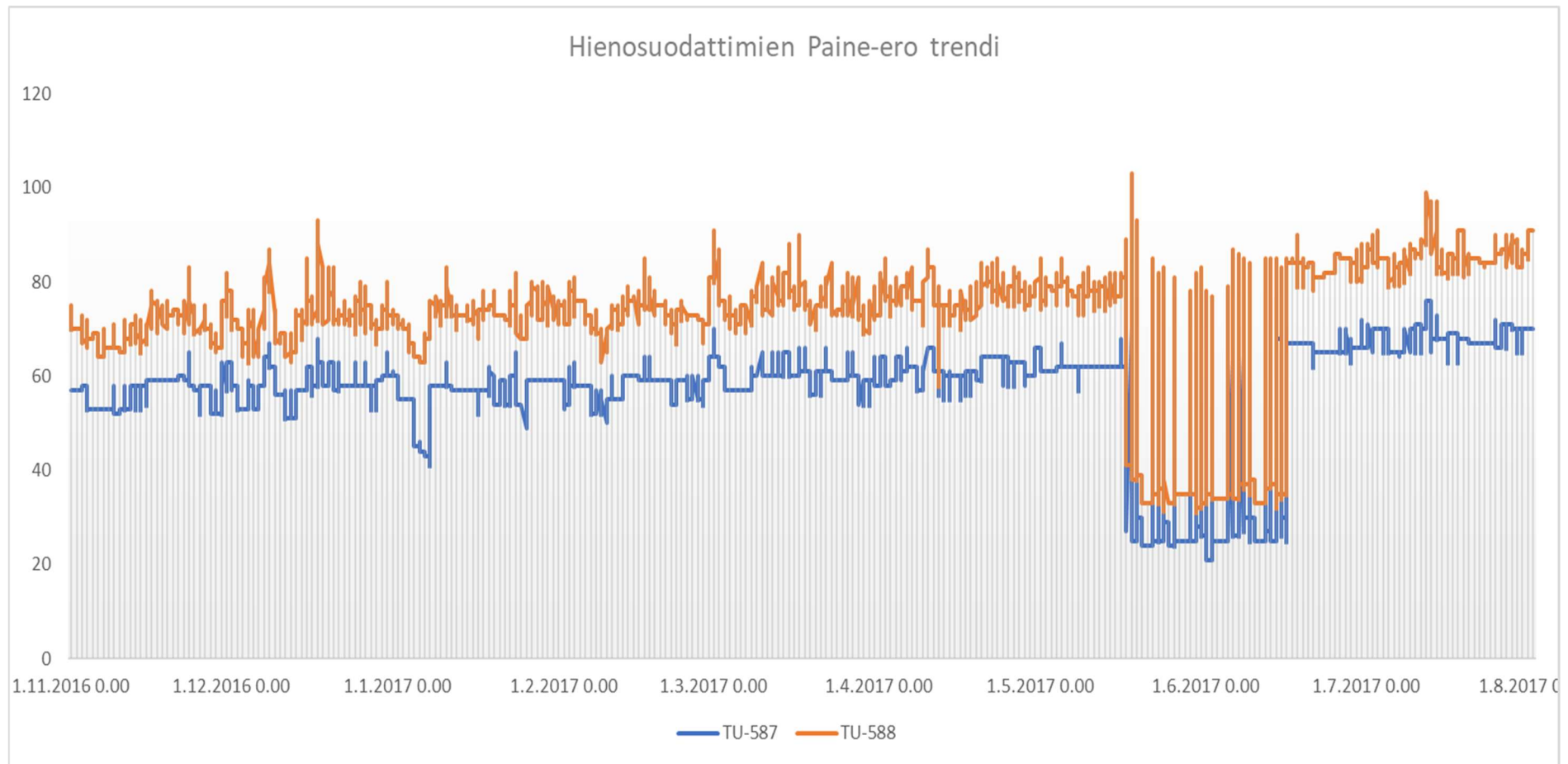
Liite 6 HIUKKASMITTAUKSET

Liite 7 UUSI KILPAILUTUSMALLI POHJOIS-POHJANMAAN SAIRAANHOITAPIIRI

Pohjois-pohjanmaan sairaanhoitopiiri													
Tarjouserittely			Ilmanvaihtosuodattimet			v. 2016 - 2020							
Suodatin luokka	Koko	Toimittajan tyyppi	Tilavuus- virta vertailussa mm	Alkupaine häviö Pa	Hiukkase- ruste- asteen alkuarvo nimellisvirtaamalla	Keskim. painehäviö kts.Kommentti Pa	Määrä PPSHP kpl/vuosi	Hinta ALV 0% Euroa/kpl	Laskennassa käytetty vertailuhinta	Huom!	Energia- kustannus [€]	Vertailuhinta	Kommentti
G4	592x592x200		0,944	60			50		0	Pussisuodatin, syvyys tarjouksen mukaan #	0,00	0	Keskim.painehäviö = alkupainehäviö+ 75 Pa
G4	592x592x300		0,944				150		0	Pussisuodatin, syvyys tarjouksen mukaan #	0,00	0	Keskim.painehäviö = alkupainehäviö+ 75 Pa
M5	592x592x300-360		0,944				600		0	Pussisuodatin, syvyys tarjouksen mukaan #	0,00	0	Keskim.painehäviö = alkupainehäviö+ 75 Pa
M5	592x592x600-650		0,944				40		0	Pussisuodatin, syvyys tarjouksen mukaan #	0,00	0	Keskim.painehäviö = alkupainehäviö+ 75 Pa
F8	592x592x292		0,944				810		0	Laajapintasuo- datin	0,00	0	Keskim.painehäviö = alkupainehäviö+ 75 Pa
H13	610x610x150		0,28				10		0	HEPA STD EN 1822 mukaisesti	0,00	0	HEPA suodattimien keskimääräinen painehäviö = alkupainehäviö + 75 Pa
H13	610x610x292		0,83				40		0	HEPA STD EN 1822 mukaisesti	0,00	0	
HUOM!! EN 779:2012 testeissä sähköiset varaukset tulee olla poistettu										# - vaihtoehto mahdollinen perusteituna	Vertailuh. summa	0	
Hankintahinta													
Suodattimien hankintahinta sisältää rahdin.													
Vertailussa huomioidaan minimierotusaste													
Vaadittu minimierotus aste on F8-suodattimilla on 60% (0,4µm). Minimierotusasteen 60% ylittävää prosenttiosuutta käytetään hintavertailussa hintaa alentavana tekijänä.													
Esim. jos tarjottavan suodattimen minimierotusaste on 68%, hintavertailussa suodattimen hinnasta vähennetään 68% - 60% = 8%													
Hepasuodattimen käyttöaika on viisi vuotta. Vuosittaisen hankinta-arvon osuudeksi jää 20% ostohinnasta/vuosi													
Suodatin tarjoaja täyttää kohdat: toimittajan tyyppi, alkupainehäviö, hiukkase- ruste- asteen alkuarvo nimellisvirtaamalla, keskim. paine- häviö kommentien ohjeistuksen mukaan ja hinta.													
Energia													
Suodattimien käyttöajan energiankulutus lasketaan kaavalla:													
$Q = \frac{q \times \Delta p \times t}{\eta \times 1000}$			$Q =$ Yhdensuodattimen kuluttama energia elinkaaren aikana [Kwh]										
			$q =$ Ilmamäärä m ³ /s										
			$\Delta p =$ Keskimääräinen paine-ero [Pa]										
			$\eta =$ Puhaltimen hyötysuhde 0,6										
			$t =$ Suodattimen käyttöaika G4 = 3000 h										
			Suodattimen käyttöaika M5 - F8 = 6000 h										
			Suodattimen käyttöaika HEPA = 30000 h										
Energian hintana käytetään P = 95 €/ Mwh													
Energiakustannus lasketaan K = Q x P [€/a]													
Vertailuhinta													
Vertailuhinta suodatin tyypeittäin O= (J + N) x suodattimien lukumäärä (I)													



Suodattimien paine-eromittaukset				
aika	TU-587		TU-588	
	etu suod.	hieno suod.	etu suod.	hieno suod.
pvm	Pa	Pa	Pa	Pa
29.7.2016	8	54	2	72
4.8.2016	7	55	3	74
11.8.2016	6	55	1,5	73
19.8.2016	7	55	1,5	73
25.8.2016	7,5	55	1,8	77
1.9.2016	7,5	56	0,5	77
9.9.2016	4,8	55	0,5	74
15.9.2016	5	57	1	76
22.9.2016	4,5	55	1	74
29.9.2016	4,8	56	1,5	76
7.10.2016	5	55	2,5	75
12.10.2016	5,5	55	2,1	74
19.10.2016	4	54	1,2	74
28.10.2016	4,4	57	2	78
3.11.2016	5,2	56	2,3	75
10.11.2016	4	52	1,3	71
17.11.2016	5,5	55	2	75
24.11.2016	4	54	2,1	74
1.12.2016	4	56	2,4	77
8.12.2016	4	60	1,4	85
16.12.2016	4	56	1,5	78
23.12.2016	4	56	1,1	77
29.12.2016	4	58	2,2	78
5.1.2017	3	48	1,8	67
11.1.2017	4,5	58	1,6	78
18.1.2017	2,9	55	1	76
25.1.2017	6,5	58	2,5	79
2.2.2017	6	56	2	79
8.2.2017	3	53	2	75
15.2.2017	4	57	1,4	78
24.2.2017	3,5	55	2	77
2.3.2017	3,5	61	1	86
8.3.2017	4	57	1,4	79
17.3.2017	5	64	1,5	90
23.3.2017	4	58	2	80
31.3.2017	3,8	58	3	79
5.4.2017	3,7	59	1,5	81
12.4.2017	3,8	56,6	2,5	77,2
19.4.2017	3	56,5	2,8	78
28.4.2017	4	58,5	2,5	79,5
4.5.2017	5	60	2,6	82
12.5.2017	5,5	60,7	3,5	82,3
19.5.2017	6,4	67	4,5	92
24.5.2017	10,5	67	7	88,8
31.5.2017	4	62	3,5	84
9.6.2017	5,8	64,9	3,9	87
16.6.2017	4,2	62,1	2	82,7
21.6.2017	6	62,5	3,7	85
28.6.2017	5,5	64,5	3,8	87,4
7.7.2017	5,5	63	3,3	86,4
13.7.2017	4,9	65,5	2,3	88,8
20.7.2017	5,3	65	3,2	88,2
26.7.2017	5,9	66,3	4	89,3
3.8.2017	7,2	66,8	4,9	90,7

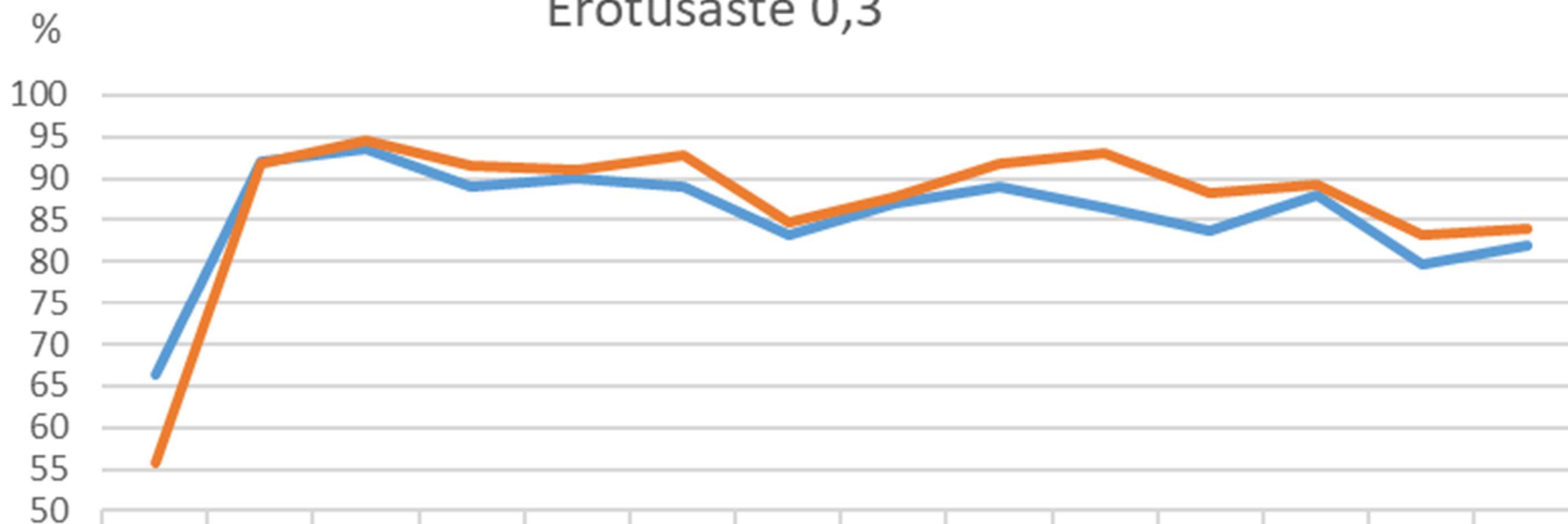


aika	ulko ilma	kosteus _{ulko}	Ilman paine	ph`	ph	x	ph	ρ _i	ρ
pvm	°C	%	hpa	bar	bar	kg _{h2o} /kg	kg/m ³	kg/m ³	kg/m ³
4.elo	18,1	69	1006	0,021	0,014	0,009	0,011	1,186	1,197
11.elo	14	93	1006	0,016	0,015	0,009	0,011	1,202	1,217
19.elo	13	100	1016,9	0,015	0,015	0,009	0,011	1,220	1,235
25.elo	10	99	1013,5	0,012	0,012	0,008	0,009	1,232	1,244
1.syys	15	100	1001,9	0,017	0,017	0,011	0,013	1,191	1,208
9.syys	11	100	1017,6	0,013	0,013	0,008	0,010	1,232	1,245
15.syys	16	57	1017,1	0,018	0,010	0,007	0,008	1,213	1,223
22.syys	11	69	1027	0,013	0,009	0,006	0,007	1,248	1,257
29.syys	13	100	993,6	0,015	0,015	0,009	0,011	1,191	1,206
7.loka	4	100	1039,2	0,008	0,008	0,005	0,006	1,296	1,304
12.loka	6	100	1034	0,009	0,009	0,006	0,007	1,279	1,288
19.loka	5	76	1028,4	0,009	0,007	0,004	0,005	1,280	1,286
28.loka	7	100	997	0,010	0,010	0,006	0,008	1,227	1,237
3.marras	-1	100	1015,8	0,006	0,006	0,004	0,004	1,293	1,299
10.marras	-8	92	1024,2	0,003	0,003	0,002	0,002	1,342	1,345
17.marras	-7	96	994,5	0,003	0,003	0,002	0,003	1,297	1,301
24.marras	-1	100	1007,3	0,006	0,006	0,004	0,004	1,282	1,288
1.joulu	-0,5	100	988,9	0,006	0,006	0,004	0,005	1,256	1,262
8.joulu	1,5	100	993,3	0,007	0,007	0,004	0,005	1,251	1,258
16.joulu	-1,7	100	1022,2	0,005	0,005	0,003	0,004	1,305	1,310
23.joulu	2,1	97	999,5	0,007	0,007	0,004	0,005	1,256	1,263
29.joulu	-1,5	100	1011,1	0,005	0,005	0,003	0,004	1,290	1,295
5.tammi	-22	86,5	1031,6	0,001	0,001	0,000	0,001	1,430	1,431
11.tammi	2	89	989,6	0,007	0,006	0,004	0,005	1,245	1,251
18.tammi	-3	95	1012,3	0,005	0,005	0,003	0,004	1,300	1,304
25.tammi	-4,5	98	1012,5	0,004	0,004	0,003	0,003	1,308	1,312
2.helmi	-3,7	96	1013	0,004	0,004	0,003	0,003	1,304	1,308
8.helmi	-15,2	89	1046,9	0,002	0,001	0,001	0,001	1,412	1,413
15.helmi	0,6	100	1030,6	0,006	0,006	0,004	0,005	1,303	1,310
24.helmi	-9,8	91	978,1	0,003	0,002	0,002	0,002	1,291	1,293
2.maalis	0,2	100	991,4	0,006	0,006	0,004	0,005	1,256	1,262
8.maalis	-2,2	92	1016	0,005	0,005	0,003	0,004	1,300	1,305
17.maalis	-0,7	103	982,9	0,006	0,006	0,004	0,005	1,249	1,255
23.maalis	-0,8	77	1002,7	0,006	0,004	0,003	0,004	1,277	1,281
31.maalis	-5,3	99,9	1014,5	0,004	0,004	0,002	0,003	1,314	1,318
5.huhti	3	77	999	0,008	0,006	0,004	0,005	1,253	1,259
12.huhti	-2,9	100	1001,6	0,005	0,005	0,003	0,004	1,285	1,290
19.huhti	1,2	73	1028,1	0,007	0,005	0,003	0,004	1,299	1,304
28.huhti	-0,4	57,8	1019	0,006	0,003	0,002	0,003	1,297	1,301
4.touko	7,7	51	1033,7	0,011	0,005	0,003	0,004	1,276	1,281
12.touko	3,1	52	1013,9	0,008	0,004	0,002	0,003	1,274	1,278
19.touko	9,1	100	1007,4	0,012	0,012	0,007	0,009	1,229	1,241
24.touko	14,4	23,2	1013,9	0,016	0,004	0,002	0,003	1,224	1,228
31.touko	6,7	77	996	0,010	0,008	0,005	0,006	1,230	1,238
9.kesä	18	47	1017	0,021	0,010	0,006	0,007	1,205	1,215
16.kesä	22	49	1007,9	0,026	0,013	0,008	0,010	1,174	1,187
21.kesä	10,2	61	1000,3	0,012	0,008	0,005	0,006	1,221	1,228
28.kesä	12,4	96	1007,2	0,014	0,014	0,009	0,011	1,212	1,226
7.heinä	12,2	65	1013,9	0,014	0,009	0,006	0,007	1,227	1,236
13.heinä	16,7	89	1001,7	0,019	0,017	0,011	0,013	1,184	1,201
20.heinä	12,2	88	1012,4	0,014	0,012	0,008	0,010	1,221	1,233
26.heinä	17,8	74	1011,2	0,020	0,015	0,010	0,011	1,193	1,208
3.elo	14,3	90	1004,3	0,016	0,015	0,009	0,011	1,199	1,214

Energian kulutus				
aika	TU-588		TU-587	
	Viikottain	Jatkuva	Viikottain	Jatkuva
pvm	kWh	kWh	kWh	kWh
4.8.2016	156	156	128	128
11.8.2016	184	340	153	281
19.8.2016	205	545	163	444
25.8.2016	159	703	129	573
1.9.2016	182	886	147	720
9.9.2016	202	1088	162	882
15.9.2016	159	1246	129	1010
22.9.2016	174	1420	139	1149
29.9.2016	180	1601	149	1298
7.10.2016	0	0	0	0
12.10.2016	126	1727	104	1402
19.10.2016	177	1905	144	1546
28.10.2016	230	2135	190	1736
3.11.2016	150	2284	123	1859
10.11.2016	177	2462	145	2004
17.11.2016	177	2639	146	2150
24.11.2016	180	2819	149	2299
1.12.2016	177	2996	145	2444
8.12.2016	179	3174	147	2591
16.12.2016	201	3376	162	2753
23.12.2016	161	3537	132	2884
29.12.2016	174	3711	148	3032
5.1.2017	179	3890	144	3176
11.1.2017	148	4038	128	3303
18.1.2017	177	4215	145	3448
25.1.2017	181	4396	150	3598
2.2.2017	203	4599	166	3764
8.2.2017	149	4748	122	3886
15.2.2017	175	4923	140	4026
24.2.2017	228	5151	187	4212
2.3.2017	159	5310	131	4343
8.3.2017	151	5461	124	4467
17.3.2017	226	5687	186	4653
23.3.2017	157	5844	130	4783
31.3.2017	201	6045	165	4949
5.4.2017	128	6173	105	5054
12.4.2017	181	6354	149	5203
19.4.2017	179	6533	148	5351
28.4.2017	0	0	0	0
4.5.2017	159	6692	130	5481
12.5.2017	205	6897	167	5648
19.5.2017	159	7057	131	5779
24.5.2017	72	7129	45	5825
31.5.2017	0	0	0	0
9.6.2017	133	7262	94	5918
16.6.2017	99	7361	72	5991
21.6.2017	136	7497	113	6103
28.6.2017	188	7685	155	6259
7.7.2017	233	7918	192	6451
13.7.2017	166	8083	138	6588
20.7.2017	182	8266	146	6734
26.7.2017	158	8423	126	6860
3.8.2017	217	8641	175	7035

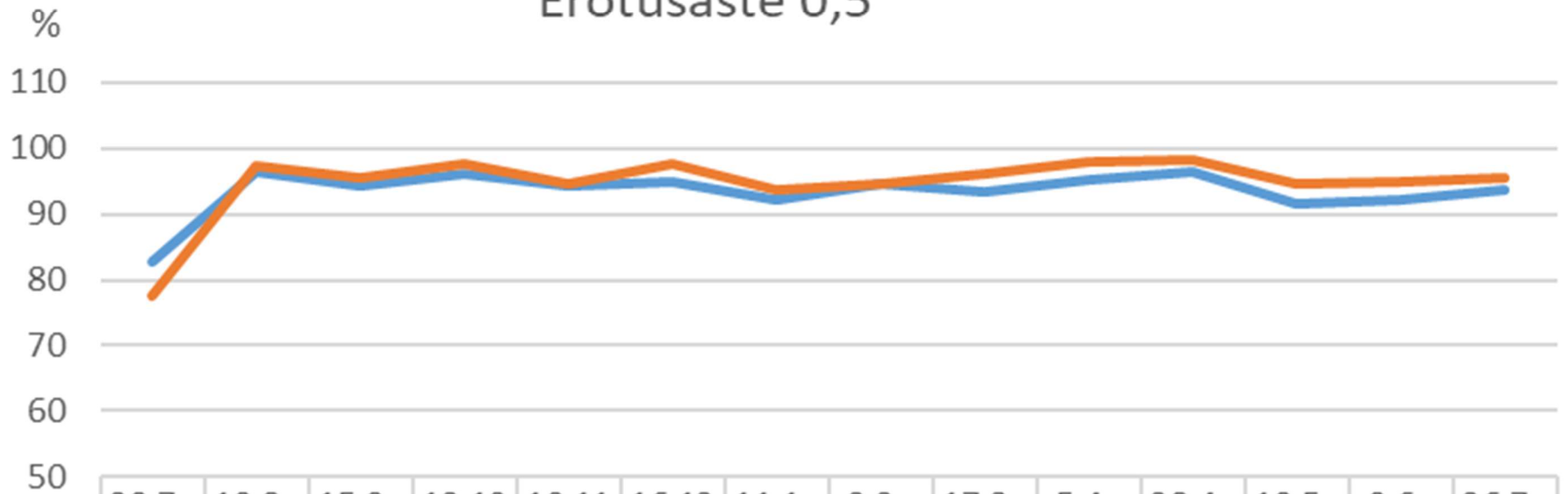
	Kumulatiivinen jakauma						Kumulatiivinen jakauma					
	TU-587						TU-588					
pvm	0,3	0,5	1	3	5	10	0,3	0,5	1	3	5	10
29.7.-16	66,2	82,7	92,4	91,7	88,6	87,9	55,7	77,6	91,3	89,0	84,1	83,1
19.8.-16	92,0	96,5	96,1	93,6	80,1	40,7	91,8	97,5	98,1	96,3	86,0	61,1
15.9.-16	93,5	94,4	96,6	95,8	93,8	93,2	94,5	95,4	97,5	96,1	93,9	92,1
12.10.-16	89,1	96,2	96,4	96,9	96,8	97,0	91,5	97,6	98,0	97,3	94,7	93,9
10.11.-16	90,1	94,4	95,9	97,1	96,9	96,7	91,0	94,7	93,7	95,7	95,2	96,4
16.12.-16	88,9	95,0	97,3	97,2	96,5	95,9	92,8	97,5	98,9	98,0	97,5	97,4
11.1.-17	83,1	92,1	94,5	87,9	76,6	72,2	84,8	93,7	96,3	86,8	69,9	58,0
2.2.-17	86,9	94,6	98,5	99,6	99,8	99,9	87,7	94,8	98,4	99,6	99,9	100,0
17.3.-17	89,1	93,5	93,9	77,3	67,6	84,4	91,7	96,3	95,8	92,7	97,2	100,0
5.4.-17	86,4	95,3	97,6	97,5	98,5	98,8	92,9	98,0	99,1	98,4	97,9	97,6
28.4.-17	83,6	96,5	98,9	99,8	99,9	100,0	88,2	98,2	99,6	99,9	100,0	100,0
19.5.-17	88,0	91,5	95,0	96,2	96,6	96,6	89,3	94,6	98,0	98,9	99,3	99,6
9.6.-17	79,6	92,3	97,7	99,3	99,7	99,9	83,1	94,9	98,9	99,5	99,5	99,4
26.7.-17	81,9	93,8	98,4	99,6	99,4	98,4	83,9	95,5	98,9	99,1	97,4	92,7

Kumulatiivinen Erotusaste 0,3



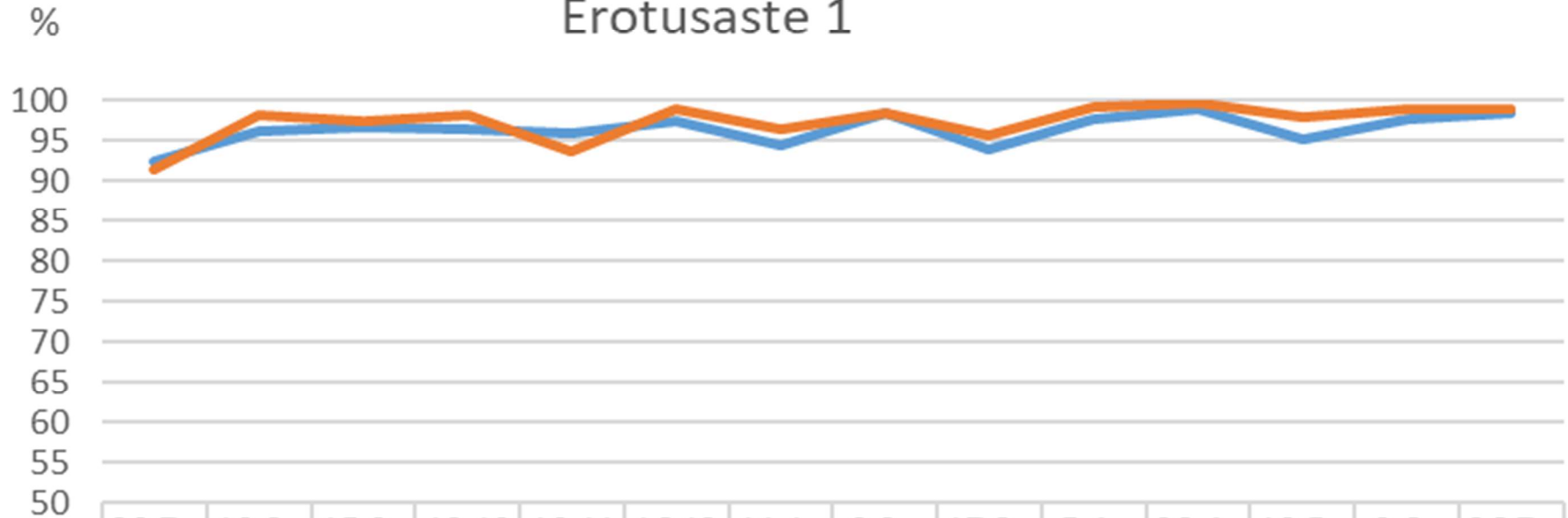
	29.7.- 16	19.8.- 16	15.9.- 16	12.10 .-16	10.11 .-16	16.12 .-16	11.1.- 17	2.2.- 17	17.3.- 17	5.4.- 17	28.4.- 17	19.5.- 17	9.6.- 17	26.7.- 17
— TU-587	66	92	94	89	90	89	83	87	89	86	84	88	80	82
— TU-588	56	92	95	91	91	93	85	88	92	93	88	89	83	84

Kumulatiivinen Erotusaste 0,5



	29.7.- 16	19.8.- 16	15.9.- 16	12.10 .-16	10.11 .-16	16.12 .-16	11.1.- 17	2.2.- 17	17.3.- 17	5.4.- 17	28.4.- 17	19.5.- 17	9.6.- 17	26.7.- 17
— TU-587	83	96	94	96	94	95	92	95	94	95	97	91	92	94
— TU-588	78	97	95	98	95	98	94	95	96	98	98	95	95	96

Kumulatiivinen Erotusaste 1



	29.7.- 16	19.8.- 16	15.9.- 16	12.10 -16	10.11 -16	16.12 -16	11.1.- 17	2.2.- 17	17.3.- 17	5.4.- 17	28.4.- 17	19.5.- 17	9.6.- 17	26.7.- 17
— TU-587	92	96	97	96	96	97	94	99	94	98	99	95	98	98
— TU-588	91	98	98	98	94	99	96	98	96	99	100	98	99	99

Pohjois-pohjanmaan sairaanhoitopiiri														
Tarjouserittely											Ilmanvaihtosuodattimet			
											Energian hinta (Tarkistetaan ennen tarjous pyyntöä)		90	€/MWh
											Puhaltimen hyötysuhde		60	%
Suodatin luokka	Koko	Toimittajan tyyppi	Tilavuusvirta vertailussa	Alkupaine painehäviö	Hiukkaserotusasteen minimi arvo nimellisvirtaamalla	Keskimääräinen painehäviö	Määrä	Hinta ALV 0%	Laskennassa käytetty vertailuhinta	Huom!	Energiakustannus	Vertailuhinta		
ISO	mm		m ³ /s	Pa	%	Pa	kpl/vuosi	€/kpl	€		€	€		
Etusuodattimet														
Karkea	592x592x300		0,944						0	Pussisuodatin, syvyys tarjouksen mukaan #	0,00	0		
PM10 50%	592x592x300-360		0,944						0	Pussisuodatin, syvyys tarjouksen mukaan #	0,00	0		
PM2,5 55%			0,944											
Hienosuodattimet PM1														
60 %	592x592x600-650		0,944						0	Pussisuodatin, syvyys tarjouksen mukaan #	0,00	0		
75 %	592x592x292		0,944						0	Laajapintasuodatin	0,00	0		
85 %	592x592x293		0,944						0	Laajapintasuodatin	0,00	0		
Korkean erotusasteen suodattimet														
H13	610x610x150		0,280						0	HEPA STD EN 1822 mukaisesti	0,00	0		
H13	610x610x292		0,830						0	HEPA STD EN 1822 mukaisesti	0,00	0		
HUOM.! ISO 16890 standardin testeissä sähköiset varaukset tulee olla poistettu											# = Vaihtoehto mahdollinen perusteltuna	Vertailuhintojen summa	0	
Hankintahinta											3 Vertailuhinta			
Suodattimien hankintahinta sisältää rahdin.											Suodatin tyypeittäin O= (K + N) x suodattimien lukumäärä (I)			
Vertailussa huomioidaan minimierotusaste. Vaadittu minimierotus aste on täyttyvä suodatinluokassa														
Minimierotusasteen ylittävää prosenttiosuutta käytetään hintavertailussa hintaa alentavana tekijänä.														
Esim. jos tarjottavan suodattimen minimierotusaste on 80%, hintavertailussa suodattimen hinnasta vähennetään 80% - 75% = 5%														
Hepasuodattimen käyttöaika on viisi vuotta. Vuosittaisen hankinta-arvon osuudeksi jää 20% ostohinnasta/vuosi														
Suodatin tarjoaja täyttää kohdat: toimittajan tyyppi, alkupainehäviö, hiukkaserotusasteen alkuarvo nimellisvirtaamalla, kommentien ohjeistuksen mukaan ja hinta.														
Perustelut huomautuksia osioon.														
Energia											Perustelut			
Suodattimien käyttöajan energiankulutus lasketaan kaavalla:														
$Q = q \times \Delta p \times t$			Q= Yhdensuodattimen kuluttama energia elinkaaren aikana [kWh]											
$\eta \times 1000$			q= Ilmamäärä m ³ /s											
			Δp = Alkupainehäviö/(Hepa-suodattimissa Keskimääräinen paine-ero) [Pa]											
			η = Puhaltimen hyötysuhde											
			t= Suodattimen käyttöaika Karkea - PM10 50% = 3000 h											
			Suodattimen käyttöaika PM1 60% - PM1 85% = 6000 h											
			Suodattimen käyttöaika HEPA = 30000 h											
Energiakustannus lasketaan $K = Q \times P$ [€/a]														

